

基于生态敏感性评价的乌海市土地资源承载力分析

史娜娜, 全占军, 韩煜, 王琦, 肖能文, 高晓奇

(中国环境科学研究院, 北京 100012)

摘要:土地资源承载力反映了快速城市化背景下土地资源可持续利用状况。利用 GIS 空间分析技术, 采用多因素加权叠加法, 以地形地貌、土地利用类型、土壤侵蚀、距离条件、生态敏感区 5 类因子进行了生态敏感性评价, 并在此基础上分析了其土地资源承载力。结果表明: (1) 高度敏感区、中度敏感区、低度敏感区和不敏感区所占比例分别为 11.61%, 25.70%, 37.80% 和 24.80%, 乌海市以不敏感区和低度敏感区为主, 占总面积的 62.6%。(2) 土地利用在生态敏感性评价中最为敏感, 区域内土地资源承载了 86.03% 的城镇村及工矿用地、93.18% 的交通运输用地。研究结果将对乌海市可持续发展提供理论支撑。

关键词:生态敏感性; 土地资源承载力; 空间分析; GIS; 乌海市

中图分类号: X171.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2017)01-0239-05

Analysis of Land Resources Carrying Capacity in Wuhai City Based on Ecological Sensitivity

SHI Nana, QUAN Zhanjun, HAN Yu, WANG Qi, XIAO Nengwen, GAO Xiaoqi

(Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China)

Abstract: Land resources carrying capacity reflects the sustainable utilization of land resources under the background of rapid urbanization. With the help of ArcGIS spatial analysis, using the multi-factor weighted overlay method, based on the ecological sensitivity by landform, land use, soil erosion, distance conditions and ecological areas, land resources carrying capacity was analyzed. The results showed that: (1) highly sensitive area, moderately sensitive areas, low sensitive areas and insensitive area accounted for 11.61%, 25.70%, 37.80% and 24.80%, respectively, the insensitive and low sensitive areas accounted for 62.6% in Wuhai City; (2) land use was the most sensitive in the ecological sensitivity assessment, and the land resources had the capacity of 86.03% for urban, village, industrial and mining land, and 93.18% for transportation land. The results can provide the theoretical support for the sustainable development of Wuhai City.

Keywords: eco-sensitivity; land resources carrying capacity; spatial analysis; GIS; Wuhai City

土地承载着区域的一切开发建设活动, 是区域实现可持续发展的基础和制约因素之一^[1-2], 因此, 土地资源承载力分析是评价区域土地资源条件是否可以支撑区域发展的方法之一。土地资源承载力指一定时期、一定空间区域和一定社会、经济、生态环境条件下, 土地资源所能承载的人类各种活动的规模和强度的限度^[3-5]。以往关于土地资源承载力的研究以“人一粮”关系为出发点^[6], 多采用线性规划模型、灰色系统模型和一元回归分析模型、系统动力学方法和人工神经网络等方法^[7], 对工业用地、商业用地、建设用地等的土地资源承载力研究尚未有成熟的理论和方法^[8]。

生态敏感性表征现状自然环境背景下, 人类活动干扰和自然环境变化导致发生区域生态环境问题的难易程度及其可能性大小^[9-12]。生态敏感性评价实质上是辨识现状生态背景下潜在的生态环境问题^[13-16], 分析其空间布局, 明晰不同敏感性分区上的土地利用格局, 指出其可能存在的空间布局短板, 以期确定区域重点生态建设、土地生态承载力及生态保育区提供技术支撑。已有关于生态敏感性的评价主要具有以下特点: 以土壤侵蚀、土地沙化、土壤盐渍化等自然生态敏感因子为主, 在单一生态敏感性评价基础上, 采用权重法或最大值法进行国家、流域、省域及市/县域尺度上的生态敏感性综合评价。既有研究

收稿日期: 2016-01-13

修回日期: 2016-03-25

资助项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务专项“半干旱采煤塌陷区土壤养分循环过程及控制”(2013-YSKY-14)

第一作者: 史娜娜(1983—), 女, 山东潍坊人, 硕士, 工程师, 主要从事生态学研究。E-mail: shinn123@163.com

通信作者: 全占军(1979—), 男, 河北张家口人, 博士, 副研究员, 主要从事生态环境评价研究。E-mail: quanzj@craes.org.cn

取得了较大的成绩,但是对人文因素的考虑不到位,并且在半干旱区的应用研究较少。鉴于此,以乌海市为案例区,尝试引入距离条件这一人文因素,以 GIS 和 RS 为技术手段,结合自然因素和人文因素,分析和评价乌海市生态敏感性的空间布局。

在生态敏感性空间分析的基础上,分别统计不同敏感区上不同土地利用类型的面积比例,生态敏感性越低,表明生态环境对不同用地的限制越小,不同用地需求对生态系统及其功能结构和稳定性的影响越小,土地承载力越大。因此,分析生态敏感性基础上的现有土地资源承载力,以期为该区环境管理和决策提供相应的借鉴和参考。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

乌海市是内蒙古自治区西部的新兴工业城市,地处黄河流域上游,东临鄂尔多斯高原,西接阿拉善草原,南连银川平原,北靠河套沃野,地理坐标为东经 $106^{\circ}36'$ — $107^{\circ}08'$,北纬 $39^{\circ}13'$ — $39^{\circ}54'$,平均海拔 1 150 m,南北长约 69 km,东西宽 42 km,总面积 1 754 km²。行政辖区内辖海勃湾、乌达、海南 3 个区、5 个镇和 15 个街道办事处。乌海市具有复杂的荒漠、山间谷地、冲洪积扇等地貌格局,山地以中低山和丘陵为主,沟谷发育,桌子山和甘德格尔山为主要山脉。该区属典型的温带大陆性气候,气候干燥少雨,风沙严重,故该区地带性土壤为漠钙土,土壤侵蚀强度大,植被覆盖度较低。作为新兴工业城市,该市能源、化工、建材、机械、冶金等迅猛发展,城市建设、交通运输、邮电通讯等随之发展^[17]。但是,由于该区本底生态环境较为脆弱,可能导致该区生态环境承载能力下降,主要表现为:荒漠化草原生态调节和供给功能较弱,进而加剧水土流失,而城市开发建设过程中不合理的土地利用方式又加快了土地生产力退化趋势。生态环境质量持续下降将降低地区承载力,制约经济发展,危害人类健康。因此,针对上述生态环境问题,选取地形条件、土地利用类型、土壤侵蚀、交通条件、生态敏感区 5 大类指标,进行乌海市生态敏感性分析,揭示该区土地承载力,以期为该区可持续发展提供一定借鉴和参考。

1.2 数据来源及预处理

数据包括研究区 Landsat TM 8 影像(2014 年 7 月)、地形图(1:50 000)、土地利用图(2010 年)、行政区划图、林相图以及相关的社会统计数据。Landsat TM 8 全色影像空间分辨率 15 m,多光谱影像空间分辨率 30 m,通过图像融合生成具有丰富地物信息的较

高空间分辨率的影像,结合土地利用现状图、辅以现场勘查解译获取乌海市 2014 年土地利用数据。专题地图制备过程中利用 ArcGIS 软件,统一采用北京 1954 年坐标格式和高斯-克里格投影,将土地利用数据转换为栅格数据,栅格大小为 30 m×30 m。

1.3 生态敏感性评价

生态敏感性评价首先分析研究区存在的主要生态环境问题,然后对其敏感性进行综合分析,明确区域生态环境敏感性的分布特征^[18]。根据调查研究,乌海市主要的生态环境问题表现为水土流失、林地和草场退化等^[17],结合研究区面临的主要生态环境问题、生态敏感性评价原理以及资料可获性,选取对该区生态敏感度影响较大的地形地貌、土地利用类型、土壤侵蚀、交通条件、生态敏感区等 5 类 8 个因子进行乌海市生态敏感性分析。生态敏感性评价步骤如下:

(1) 分级赋值:对选定的指标进行分级赋值,结合相应的现状评价标准,将各因子的敏感性分为 4 级,即高度敏感、中度敏感、低度敏感和不敏感(表 1),从而得到各个指标的等级栅格图(图 1)。

(2) 确定指标权重:采用 AHP 法^[19]确定各指标权重,利用 yaahp 软件构造两两比较判断矩阵,计算各评价指标的权重值,结果通过一致性检验($C.R. < 0.0283$)。乌海市生态敏感性评价指标及其权重见表 1。

(3) 生态敏感性评价:采用 ArcGIS 空间分析模块中的栅格运算进行多因子生态敏感性综合性评价,

$$SS = \sum_{i=1}^8 w_i (a_1 + a_2 + \dots + a_i)$$

式中:SS 为综合生态敏感性指数,其空间栅格单元为 30 m×30 m; w_i 为第 i 个因子的敏感性权重; a_i 为第 i 个因子敏感性等级分级结果, $i=1,2,\dots,8$ 。

(4) 划分敏感性等级:采用 Natural Breaks 将生态敏感性等级划分为 4 级,其值在 6.1~8.0 为高度敏感;4.1~6.0 为中度敏感;2.1~4.0 为低度敏感;1.0~2.0 为不敏感。

1.4 基于生态敏感性的土地资源承载力分析

生态敏感性分析主要从自然生态资源的角度来分析区域内各系统对人类活动的反应,揭示区域土地生态特点和问题,可为区域土地资源的合理利用提供重要依据^[20]。根据生态敏感性评价结果,以 30 m×30 m 栅格为单位,以不敏感区、低度敏感区、中度敏感区和高度敏感区为地理边界,采用地图叠加法,将现状土地利用与生态敏感性评价结果进行空间叠加分析,提炼基于不同生态敏感性的土地利用类型的面积和比例,分析其空间规划布局的合理性,进而提出空间调整和优化的建议。

表 1 生态敏感性评价因子指标

因子	生态敏感度	分级标准	赋值	权重	
地形地貌	高程	高度敏感	>1371 m	7	0.1087
		中度敏感	1224~1371 m	5	
		低度敏感	1135~1224 m	3	
		不敏感	983~1135 m	1	
地形地貌	坡度	高度敏感	≥25°	7	0.1128
		中度敏感	15°~25°	5	
		低度敏感	5°~15°	3	
		不敏感	<5°	1	
土地利用	土地利用类型	高度敏感	林地、水域	7	0.1337
		中度敏感	园地、耕地、草地	5	
		低度敏感	城镇居民用地、农村居民用地	3	
		不敏感	建设用地、交通用地	1	
土壤侵蚀	土壤侵蚀	高度敏感	极强度侵蚀	7	0.1004
		中度敏感	强度侵蚀	5	
		低度敏感	中度侵蚀	3	
		不敏感	低度侵蚀	1	
距离条件	到主要交通道路的距离	高度敏感	≥3.0 km	7	0.1028
		中度敏感	2.0~3.0 km	5	
		低度敏感	1.0~2.0 km	3	
		不敏感	<1.0 km	1	
距离条件	到居民点的距离	高度敏感	≥3.0 km	7	0.1069
		中度敏感	2.0~3.0 km	5	
		低度敏感	1.0~2.0 km	3	
		不敏感	<1.0 km	1	
距离条件	到水域的距离	高度敏感	≤100 m	7	0.1338
		中度敏感	100~200 m	5	
		低度敏感	200~300 m	3	
		不敏感	>300 m	1	
敏感区	自然保护区、文物遗迹	高度敏感	区域范围内	7	0.2008

2 结果与分析

2.1 生态敏感性评价

2.1.1 单因子评价 (1) 地形敏感性。地形是影响人类居住空间分布的重要自然因素,包括高程和坡度两个因子。通过计算数字高程模型(DEM)得到研究区地形起伏因子分布(图 1)。研究区境内多山,山地丘陵约占总面积的 2/3。东部是桌子山、甘德尔山,西部有五虎山,均呈南北向带状延伸。海拔较高。地形起伏以平坦地类为主(0°~15°),一线天风景区、桌子山周边较大,以 15°~25°为主。(2) 土地利用敏感性。乌海市以荒漠型地带植被为主,故林地和水域在该区体现为高度敏感,园地、耕地和草地为中度敏感,不敏感和低度敏感区域主要为建设用地及交通用地周边区域。(3) 土壤侵蚀敏感性。中度侵蚀主要分布在沿河流域、西桌子山沿线区域;强度侵蚀和极强度侵蚀零星分布,面积较小;其余为低度侵蚀。(4) 距离敏感性。到主要交通道路的距离中,高度敏感区主要分布在乌海市南部草原区、四合木自然保护区及乌达西部;中度敏感区主要依高度敏感区分布,其余为不敏感区和低度敏感区;在到水域的距离中,沿黄流域为高度敏感区;

研究流域 1~2 km 范围为中度敏感区,2~3 km 范围内为低度敏感区,其余为不敏感区;到居民点的距离中,以低度敏感区为主,四合木自然保护区以中度敏感和高度敏感为主,其余为低度敏感区。(5) 生态敏感区敏感性:主要为自然保护区、文物遗迹、水域、林地。

2.1.2 综合评价 利用 ArcGIS 的空间分析功能,进行单因子加权综合评价,得到评价区域生态敏感性综合评价值为 1.0~8.0。各敏感区面积及比例见表 2,生态敏感性空间分布见图 1。

如图 1、表 2 所示:(1) 不敏感区域面积 413.87 km²,占总面积的 24.80%,主要分布在城市建设区、居民点、工业园区、交通用地等建设区。该区主要以建设用地为主,坡度较缓,土壤侵蚀较弱,适宜进行开发建设;(2) 低度敏感区面积 632.28 km²,占总面积的 37.80%,主要分布在不敏感区外围一定距离之内;(3) 中度敏感区域面积 428.31 km²,占总面积的 25.70%,主要分布在北部,中部自然保护区周边 1~2 km 范围内,南部草原部分区域;(4) 高度敏感区主要分布在沿黄河流域、文物遗迹、自然保护区,面积 193.68 km²,占总面积的 11.61%。该区海拔在 1 200 m 以下,坡度较缓,但距离军民区、水域等敏感目标较近。

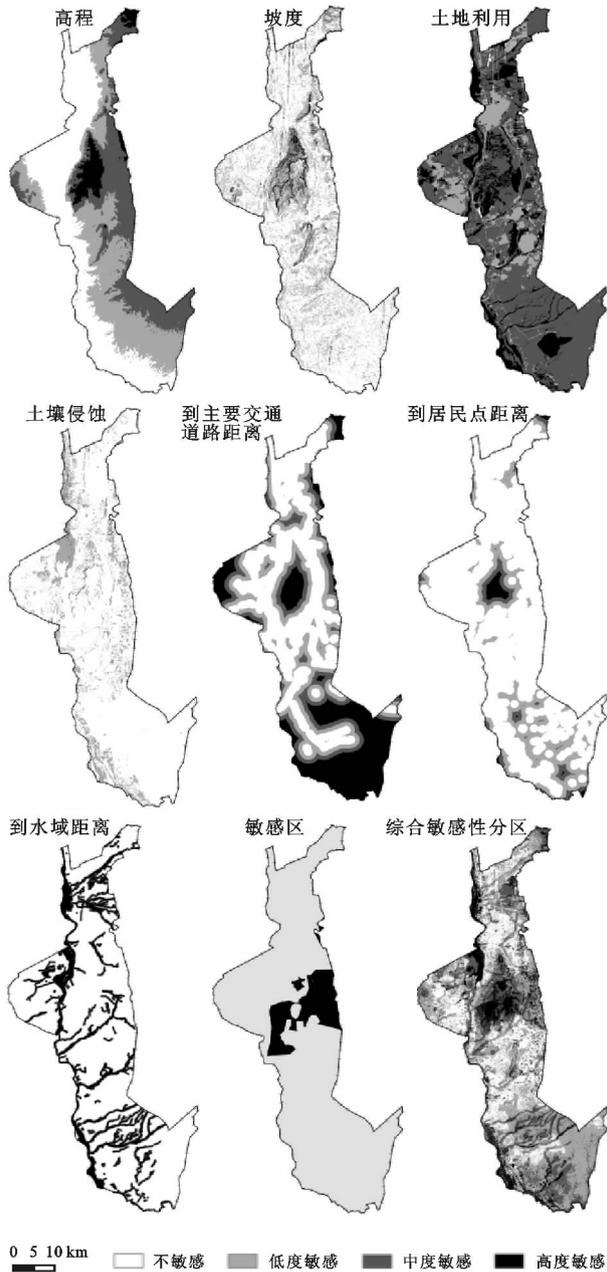


图1 乌海市生态敏感性分区

表2 乌海市生态敏感性分析结果

项目	高度敏感区	中度敏感区	低度敏感区	不敏感区
面积/km ²	193.68	428.81	632.28	413.87
比例/%	11.61	25.70	37.89	24.80

综上所述,不敏感区和低度敏感区占总面积的62.6%,主要为城市建设区、交通运输用地及其周边土地;高、中敏感区占总面积的37.4%,主要分布在水域、自然保护区、文物古迹等周边。

2.1.3 生态敏感区分区保护对策 根据生态敏感性区划结果,辨识各个生态单元不同的生态环境敏感性,并按照乌海市未来发展规划,对乌海市不同敏感性地区分别制定了相应的保护对策。

(1) 高度敏感区保护对策建议:城市建设禁止占

用该区任何用地,划定生态保护红线,禁止从事任何与生态环境保护无关的建设活动;对已破坏的生态环境尽快做好生态修复工作。

(2) 中度敏感区保护对策建议:严格控制该区城市建设用地数量和规模,严格限制煤化工、化工材料等污染企业的建设,可以工业园区的形式相对集中发展。

(3) 低度敏感区保护对策建议:已开发区域,注重生态恢复工作,改变产业发展方式,合理工业布局,逐步恢复破坏的生态环境;尚未开发地方,以生态保护红线为出发点,注重新区建设与生态环境标准的协调性、适应性,遵照预防为主、防治结合、综合治理、损害担责的原则,协调生态与经济发展。

(4) 不敏感区保护对策建议:城市建设仍应保护生态环境,以环境容量为约束条件,以生态环境承载力为落脚点,加强生态补偿工作和绿地建设。

2.2 基于生态敏感性的土地资源承载力分析

在乌海市生态敏感性分析的基础上,将区域土地利用现状图与生态敏感性综合评价图进行空间叠加分析(表3),将高度敏感区和中度敏感区视为生态用地限制,评价区域土地资源是否可以承载目前的用地规模。结果表明:(1)在建设用地方面,86.03%的城镇村及工矿用地、93.18%的交通运输用地分布在不敏感区和低度敏感区,这表明建设用地布局合理性较高。(2)在农用地方面,林地和草地具有防风固沙、保持水土、涵养水源等生态功能,其在不同敏感性分区内的分布均呈现出生态适宜性;耕地和园地对土壤的开垦会造成一定程度的流失,此外,根据上述分析结果,耕地有60.61%分布在中高敏感区域,这可能与该区毁林毁草开荒有关,因此,该区要加大退耕还林还草力度,采用生态恢复手段,恢复良好的生态环境。(3)在未利用地方面,水系主要由于天然作用而形成,在各个敏感区均有分布,并且水域为生态敏感区,在开发利用水资源的过程中要优先保护;38.36%的其他未利用地,主要是裸地和沙地,分布在不敏感和低度敏感区,这部分土地可进行一定程度的开发利用;其余61.64%的土地由于分布在高中敏感区,主要进行以生态恢复为主的开发利用。

综合上述,土地利用在生态敏感性评价中最为敏感,根据生态敏感性分析结果,区域内土地资源承载了86.03%的城镇村及工矿用地、93.18%的交通运输用地。由此可见,土地利用空间格局与区域生态环境相适宜,不会对区域生态总格局造成破坏,部分位于高度敏感区域内的用地可能会对生态环境造成重大影响,今后应继续加大封山禁牧、退耕还林还草力度,进一步改善区域土地生态环境。

表 3 不同生态敏感区下土地利用类型面积比例统计

%

敏感区	耕地	园地	林地	草地	水域	交通用地	城镇	其他土地
不敏感区	23.99	43.39	9.98	19.87	0.15	64.43	69.90	6.81
低度敏感区	15.40	26.07	37.66	49.15	21.35	28.75	16.13	31.55
中度敏感区	34.23	25.71	40.94	24.46	35.28	6.09	11.96	37.65
高度敏感区	26.39	4.84	11.42	6.52	43.22	0.75	2.01	23.99

3 讨论与结论

3.1 讨论

土地资源承载力分析是基于生态敏感性综合评价结果进行的,并不是传统意义上的评价,地图叠加法可以直接展现现状土地利用的合理性及需要优化调整的区域。这表明该法简单明了,可在一定程度上反映现状土地资源承载力的变化情况。刘孝富等^[20]认为,评价因子的空间叠加忽略了景观过程;白义琴等^[21]认为土地包括时间和空间序列上的优化配置,本研究未涉及景观尺度上的时间序列分析,今后需深入探讨。

将 GIS 叠加技术应用于中小尺度的基于生态敏感性的土地资源承载力分析,能够快速高效地获取多种生态环境的基础地理信息,生成不同生态因子专题图,并提炼不同用地规模的承载力,可为同类型土地资源承载力评价提供参考。然而,影响生态敏感性的因子众多,生态因子选择不同,其结果亦将不同,因此,指标体系的建立应以评价区域的生态环境特点和表现出的生态环境问题为甄选依据。另外,由于指标权重的确定具有一定的主观因素,这将在一定程度上影响区域生态敏感性分区的结果。

3.2 结论

(1) 高度敏感区主要分布在沿黄河流域、文物、自然保护区;中度敏感区域主要分布在区域北部工业区,中部自然保护区周边 1~2 km 范围内,南部草原部分区域;低度敏感区主要依不敏感区域外围分布;不敏感区域主要分布在城市建设区、居民点、工业园区等、交通用地等建设区。

(2) 土地利用在生态敏感性评价中最为敏感,区域内土地资源承载了 86.03% 的城镇村及工矿用地、93.18% 的交通运输用地。土地利用空间格局与区域生态环境相适宜,不会对区域生态总格局造成破坏,部分位于高度敏感区域内的用地可能会对生态环境造成重大影响,需要进行相应的调整。

参考文献:

[1] 傅世锋,张平,蒋金龙. 基于开发区规划环评的土地资源承载力评价[J]. 应用生态学报,2012,23(2):459-467.
 [2] 王俭,孙铁珩,李培军,等. 环境承载力研究进展[J]. 应用生态学报,2005,16(4):768-772.

[3] 朱小娟,刘普幸,赵敏丽,等. 甘肃省土地资源承载力格局的时空演变分析[J]. 土壤,2013,45(2):346-354.
 [4] 岳晓燕,宋伶俐. 土地资源承载力研究方法的回顾与展望[J]. 水土保持研究,2008,15(1):254-257.
 [5] 郭欢欢,李波,侯鹰. 基于土地功能的土地资源承载力研究:以北京市海淀区为例[J]. 北京师范大学学报:自然科学版,2011,47(4):424-427.
 [6] 赵敏丽,刘普幸,朱小娟,等. 基于人粮关系的土地资源承载力空间格局研究:以河西走廊绿洲为例[J]. 干旱地区农业研究,2013,31(2):203-208.
 [7] 黄万常,周兴. 土地承载力研究的理论与方法综述[J]. 资源环境与发展,2009(3):18-21.
 [8] 郭秀锐,毛显强. 中国土地承载力计算方法研究综述[J]. 地球科学进展,2000,15(6):705-711.
 [9] 颜磊,许学工,谢正磊,等. 北京市域生态敏感性综合评价[J]. 生态学报,2009,29(6):3117-3125.
 [10] 曹建军,刘永娟. GIS 支持下上海城市生态敏感性分析[J]. 应用生态学报,2010,21(7):1805-1812.
 [11] 黄静,崔胜辉,李方一,等. 厦门市土地利用变化下的生态敏感性[J]. 生态学报,2011,31(24):7441-7449.
 [12] 徐广才,康慕谊,赵从举,等. 阜康市生态敏感性评价研究[J]. 北京师范大学学报:自然科学版,2007,43(1):88-92.
 [13] 潘峰,田长彦,邵峰,等. 新疆克拉玛依市生态敏感性研究[J]. 地理学报,2011,66(11):1497-1507.
 [14] 刘康,欧阳志云,王效科,等. 甘肃省生态环境敏感性评价及其空间分布[J]. 生态学报,2003,23(12):2711-2718.
 [15] 刘军会,高吉喜,马苏,等. 内蒙古生态环境敏感性综合评价[J]. 中国环境科学,2015,35(2):591-598.
 [16] 朱志玲,吴咏梅,张敏. 基于 GIS 的宁夏生态环境敏感性综合评价[J]. 水土保持研究,2012,19(4):101-105.
 [17] 杨美霞,周国海. 乌海市突出生态环境问题及其综合整治对策[J]. 内蒙古环境保护,2002,14(1):18-20.
 [18] 吴金华,李纪伟,朱儒儒. 基于 ArcGIS 区统计的延安市土地生态敏感性评价[J]. 自然资源学报,2011,26(7):1180-1188.
 [19] 王强,蒋志荣,张云亮. 张掖市土壤状况与植被恢复关系评价[J]. 干旱区研究,2014,31(4):723-727.
 [20] 刘孝富,舒俭民,张林波. 最小累积阻力模型在城市土地生态适宜性评价中的应用:以厦门为例[J]. 生态学报,2010,30(2):421-428.
 [21] 白义琴,阮关心,张宏伟,等. 平原河网地区土地利用生态适宜性评价:以上海市张江功能区域为例[J]. 环境科学与技术,2010,33(5):173-178.